**خصائص للأنسجة العضلية والأتزان البدني :**

**هنالك أربعة خصائص للأنسجة العضلية تلعب دورا" مهما" في المحافظة على الأتزان البدني وهي كما يأتي :**

**1. القدرة على الأستجابة واستلام التحفيزات الأتية :**

**آ. تحفيز الأسيتيل كولينAcetylcholine (ACh) للعضلات الهيكلية للأنقباض وهي مادة ناقلة تقوم بنقل السيالات العصبية بين الجهاز العصبي المحيطي والمركزي .**

**ب. التحفيز الكهربائي : استعمال التحفيز الكهربائي بين القلب والخلايا العضلية الملساء مسببا" انقباضها أيضا" استعمال الصدمة الكهربائية للعضلات الهيكلية مسببا" الأنقباض.**

**ت. التحفيز الهرموني : استعمال التحفيز الهرموني للعضلات الملساء في رحم المرأة للأنقباض كما هو عند الولادة والطلق .**

**2. الأنقباضية :القدرة على الأطالة والتقصير .**

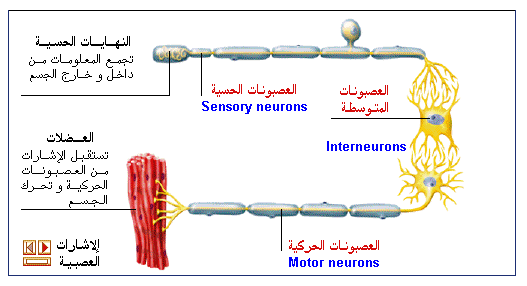
**3. القابلية على التمدد :القدرة على التمدد من غير ضرر.**

**4. القابلية على التمطية والمرونة والرجوع الى الوضع الطبيعي**

**مراحل الانقباض العضلي:**

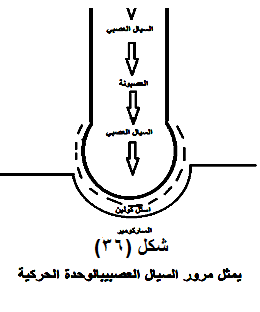
**تحدث عملية الانقباض العضلي تبعا للنظرية الانزلاقية التي قدمها "هوكسلي وهانسون" 1954م إذ تنزلق فتائل الاكتين لتتقارب مع بعضها البعض خلال المسافات البينية الأجزاء فتائل المايوسين، تسمى هذه العملية بعملية "الجسور المستعرضة" اذ تتصل بفتائل الاكتين وتكون متجهة للخارج, وعند تحرر الطاقة الكيمائية لتتحول إلى طاقة حرارية وميكانيكية تتحرك هذه الجسور المتقاطعة إلى الداخل في اتجاه المايوسين وتجذب معها فتائل الاكتين المتشابكة بها, ويتم الانقباض العضلي وفقا لسلسة من المتغيرات التي يمكن أن تتخلص فيما يلي:**

**التغيرات العصبية :**

**وتتمثل في وصول أشارة عصبية صادرة من الجهاز العصبي (الدماغ) لاستشارة الألياف العضلية لأداء الانقباض. على شكل سيـــــــــــــال عصبي من الخليــة العصبيــــــة حتى وصـــــــولها إلــــى بالصفيحة العصبية النهائية (الوحدة الحركية). **

**التغيرات الكهربائية**

**وتتمثل في انعكاس أو زوال الاستقطاب أي انعكاس فرق الجهد الكهربائي لجدار الخلية العضلية بما يعادل 110ملليفولت من (-80 مللي فولت فرق الراحة إلى + 30ملليفولت عند الاستشارة) ويسمى ذلك فرق جهد ويظهر الكالسيوم من شبكة الساركوبلازم**

****

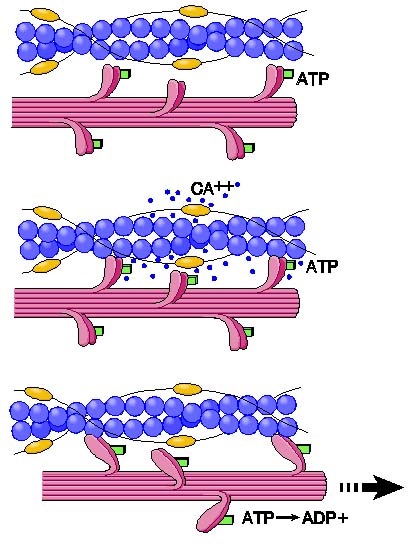
**التغيرات الحرارية**

**وهي التي تنتج عن فعالية الكالسيوم++Ka في أيقال نشاط التروبونين Troponin"وهو إنزيم يساعد على تثبيط انتشار ثلاثي ادينوسين الفوسفات بالعضلة" وبتالي تحرر إنزيم ثلاثي ادينوسين الفوسفاتATPase وانتشار ثلاثي فوسفات الادينوسين إلى ثنائي ادينوسين الفوسفات + فوسفات + طاقة، كما في المعادلة التالية:**

**ATP \_\_\_\_\_\_ ATPase \_\_\_\_\_ ADP+PI +**

**التغيرات الميكانيكية**

**وتتمثل بلنظرية الانزلاقية وعملية تدخل الاكتين والمايوسين وبالتالى حدوث الانقباض العضلي. والشكل يوضح مراحل الانقباض.**

****

**الوحدة الحركية:**

**الوحدة الحركية هي الجزء الذي يمثل الجهاز العصبي على الجهاز العضلي، ويعد الوحدة الأساسية للجهاز العضلي, وهي تتكون من خلية عصبية حركية تتصل بالعضلة عن طريق محورها والأفرع العصبية المتفرعة منه داخل العضلة ليتصل كل فرع بليفة عضلية, وتختلف الوحدات الحركية من الناحية الوظيفية والبنائية, ومن حيث عدد اليافها العضلية, وتنقبض الوحدة الحركية بكامل اليافها دفعة واحدة وتسترخي أيضا في وقت واحد تبعا لقانون " الكل او العدم " ويزيد الانقباض العضلي قوة كلما اشترك في إنتاج عدد اكبر من الوحدات الحركية**

**أعضاء الحس بالعضلة:**

**لا تقتصر علاقة الجهاز العصبي بالعضلة على مجرد الأعصاب الحركية الإمرة لها بالانقباض من خلال الوحدة الحركية, بل أنة يتلقى معلومات عن طبيعة الانقباض العضلي من حيث مقدرته وسرعته وزوايا العمل على المفاصل الجسم المختلفة, ويتلقى الجهاز العصبي هذه المعلومات عن طريق نوع من المستقبلات الحسية يعرف بالأعصاب الانتهائية الحسية التي تستقبل الإحساسات من العضلات والأوتار والمفاصل وترسلها إلى النخاع الشوكي, وتحتوى العضلة على نوعين من هذه المستقبلات هما:**

**المغازل العضلية وأعضاء جولجى الوترية حيث ينتشران في شكل متواز مع الألياف العضلة, ويتم استشارة هذه الأعضاء الحسية عن طريق الشد, ويظهر ذلك عند رفع ثقل من على الأرض فان بداية الرفعة تكون بحدوث مد في العضلة نتيجة مواجهة الثقل وبناء على درجة القوة المطلوبة, كما تباشر نفس الدور أعضاء جولجى الوترية بالأوتار, وقد تقوم مثل هذه الأعضاء الحسية بكف العمل العضلي أذا كانت هناك خطورة على العضلة من جانب زيادة درجة المقاومة الواقعة عليها.**

**أنواع وإشكال الانقباض العضلي :**

**الانقباض المركزي:**

**و احد أنواع الانقباض الايزوتوني, وفية تنقبض العضلة بتقصير طول الألياف في اتجاه مركزها, وينتج عن هذا الانقباض تحريك المفاصل.**

**لانقباض اللامركزية:**

**وفية تنقبض العضلة على عكس الانقباض السابق أي في عكس اتجاه مركزها وهى تطول, وبذلك تؤدى حركة إيقاف لدفع المقاومة, مثلما يحدث عند مقاومة ثقل الجسم بواسطة العضلات المثبتة للذراعين في حركة النزول من الشد على العضلة, أو كما يحدث عند مقاومة عضلات الرجلين لثقل الجسم أثناء ثنى الركبتين.**

**الانقباض المشابه للحركة (ايزوكلينتيك):**

**وهو انقباض عضلي يتم على المدى الكامل و بسرعة ثابتة , ويأخذ الشكل الطبيعي لأداء الحركات الفنية التخصصية مثل حركات الشد في السباحة أو التجديف.**

**الانقباض البلايومترك:**

**وهو عبارة عن انقباض متحرك غير أنة يتكون من عمليتين في اتجاهين مختلفين, إذ يبدأ الانقباض بحدوث مطاطية سريعة للعضلة كاستجابة لتحميل متحرك مما يودى في بداية الأمر إلى حدوث شد على العضلة مما ينبه أعضاء الحس فيها, فتقوم بعمل رد فعل انعكاسي يحدث انقباضا عضليا سريعا يتم بطريقة تلقائية, ويحدث ذلك عند أداء الكثير من المهارات الرياضية كأداء حركة الوثب العالي وايضا التي يقوم بها لاعبو حائط الصد في كرة الطائرة, كما نجد ذلك متمثلا في جميع حركات الارتقاء التي تسبق مهارات الوثب بأنواعه المختلفة, والحركات التمهيدية التي تسبق مهارات الرمي وركل الكرة.**

**الانقباض الايزومتري:**

**وهو الانقباض العضلي الثابت الذي فيه ينتج توتر بالعضلة إلا انه لا يحدث تغير في طولها ولا فيه أي نوع من الحركة, ويستخدم هذا النوع من الانقباض في عمليات تثبيت الحركة كدفع جدار حائط أو الثبات في وضع معين لحركات الجمباز أو عند الشد على جهاز الدينامومتر, وكذلك عندما يقوم شخص بحركة شد اليدين بعضهما البعض.**

**تنظيم الانقباض**

**عند وصول الإشارة العصبية عن طريق العصب الحركي باتجاه الخلية العضلية يرتفع تركيز الكالسيوم في الساركوبلازم مما يؤدي إلى تقصير الساركومير . وإن ارتفاع تركيز الكالسيوم في الخلية العضلية يحدث عن طريق التحفيز العصبي الذي يؤدي إلى إزالة قطبية الغشاء البلازمي للخلية العضلية .**

**يختلف حدوث وتنظيم الانقباض العضلي على وفق ما يأتي :**

**1 . نوع العضلة :**

**يلاحظ أن وصول الإشارة العصبية في العضلة الهيكلية التي تمتاز بالحجم الكبير ستصل إلى اللييفات في الداخل ببطئ ، حيث ينطلق الكالسيوم من الشبكة الساركوبلازمية داخل الساركوبلازم ، ويرتفع تركيز الكالسيوم من مستواه المستقر وهو 10 –7 mol/ l إلى10 –5 mol/ l وذلك عندما يفقد الغشاء البلازمي قطبيته . ويتم اعادة ضخ الكالسيوم ثانية إلى الشبكة الساركوبلازمية عندما تنتهي الإشارة الصادرة من العصبة الحركية .**

**أما في العضلة القلبية فإن مصدر الكالسيوم يكون الفضاء خارج الخلية فضلاً على مصدره السابق في العضلة الهيكلية .**

**تؤدي زيادة تركيز الكالسيوم إلى التأثير في هيئة الخيط الرفيع والذي يؤدي بالنتيجة إلى الانقباض ، حيث يمنع الخيط الرفيع وصول جسور المايوسين إلى الاكتين مانعاً بذلك حدوث الانقباض ( في الحالة الاعتيادية ) . وعندما يزداد تركيز الكالسيوم في السايتوبلازم فان الكالسيوم يرتبط بالوحدة الفرعية ) (c للتروبونين ، وهذا بدوره يسبب التغير في هيئة الخيط الرفيع الذي يجعل منطقة الاكتين لربط المايوسين ممكنة الوصول . وبينما يظل الكالسيوم مرتبطاً بالتروبونين فان الاكتين والمايوسين يظلان طليقين ليتفاعلا وتنزلق الخيوط بعضها جنب بعض .**

**2 . التحكم بالانقباض :**

**يختلف التحكم بالانقباض في العضلات الملساء عنه في العضلات الهيكلية والقلبية في جانبين مهمين هما :**

**أ . في العضلات الملساء لا يقع تأثير الكالسيوم في جهاز الانقباض بفعل التروبونين وإنما بفعل بروتين رابط للكالسيوم له علاقة بالتروبونين يدعى كالمودولين .**

**ب . يختلف مايوسين العضلات الملساء عن مايوسين العضلات الهيكلية والقلبية في كونها تستطيع التفاعل مع الاكتين فقط عندما يتم تفسفر إحدى سلاسلها الخفيفة .**

**3 . تعديل قوة الانقباض :**

**إن انقباض العضلة الهيكلية في الأساس أمر أما يحصل على نحو تام أو لا يحصل مطلقاً. وفي الجهد العضلي تعمل الوحدات الحركية بما يعرف بنظام التناوب حيث تبدأ بعض الوحدات الحركية في العمل، وعندما يصيبها التعب ينتقل العمل إلى وحدات حركية أخرى،ثم ثالثة، فرابعة، وهكذا حتى يصيب التعب معظم الوحدات الحركية الموجودة في العضلة،ويلي ذلك أن تبدأ المجموعة الأولى من الوحدات الحركية في العمل مرة أخرى، ثم الثانية، ثم الثالثة، وهكذا حتى تصل العضلة إلى درجة لا تستطيع فيها أن تعمل نتيجةلارتفاع نسبة ترسيب حامض اللبنيك في العضلة أو تنتهي الحركة قبل ذلك. وهذا ما يعرف بنظام العمل بالتناوب عندما تعمل العضلة للجلد او التحمل.  
ولهذا العمل علاقة كبيرة بعدد الشعيرات الدموية الموجودة في العضلة، وذلك لأهمية هذه الشعيرات في إمدادالعضلة بالأوكسجين اللازم كوقود لها، لذلك يتطلب الأمر تفتح جميع الشعيرات الدمويةالموجودة في العضلة عندما تعمل لفترات طويلة، وكذلك تختلق شعيرات جديدة إذا تطلب الأمر ذلك.ومن المعروف فسيولوجيا أن الوحدات الحركية يمكن أن تنقبض بعضها ولا ينقبض البعض الآخر، وهذا بعكس الخصائص الفسيولوجية لليفة العضلية التي تخضع لقانون الانقباض الكامل أو عدمه.إن التفاوت في قوة انقباض العضلة الهيكلية ناتج عن تغيرات في عدد الخلايا العضلية المجندة في عملية الانقباض. وخلافا لذلك فان القسم النشط من جسور المايوسين أثناء انقباض العضلة القلبية أو العضلة الملساء غير ثابت . وبما أن قوة الانقباض تتناسب مع عدد الجسور المتكونة فان الخلايا العضلية القلبية**

**.والملساء تنقبض بقوة متفاوتة . ففي الخلايا العضلية القلبية ، يتحكم بقوة الانقباض تغير عدد وحدات الاكتين التي يتمكن المايوسين الوصول إليها . وهذا بدوره يتم تنظيمه بواسطة تغير كمية الكالسيوم الموجود في الساركوبلازم أثناء الانقباض . وفي الخلايا العضلية الملساء قد تكون كلا من تركيز الكالسيوم ونشاط انزيم الكاينيز السلسلة الخفيفة للمايوسين عرضة للتحكم.**

**ان قوة الانقباض في كل من الخلايا العضلية القلبية والملساء تتأثر   
بـ الإبنفرين ( epinephrine ) وهو هرمون كظري ويطلق هذا الهرمون في الدورة الدموية استجابة للإجهاد . وعندما يطلق ينشأ استجابة فسيولوجية تتضمن زيادة في سرعة وقوة انقباض العضلة القلبية وانخفاض في شدة عضلات الأوعية الدموية الملساء . وتؤدي هذه التغيرات مجتمعة إلى زيادة في الناتج القلبي وانخفاض في المقاومة التي يعمل القلب ضدها . وتحصل تأثيرات الابنفرين في خلايا العضلات الملساء للقلب والأوعية الدموية بفعل مستقبلات سطح الخلية .**

**وتؤدي زيادة كمية الكالسيوم إلى زيادة عدد خيوط الاكتين التي يمكن الوصول إليها وبالتالي الزيادة في عدد جسور المايوسين myosin النشطة .**

**وفي خلية العضلة القلبية تؤثر ثلاثة بروتينات في سرعة وقوة الانقباض هي :**

**1 . تروبونين troponin .**

**2 . بروتين يرتبط بالساكروليما .**

**3 . فوسفولامبان phospholamban**

**وتزيد فسفرة phospholamban سرعة عمل مضخة الكالسيوم للشبكة الساكروبلازمية ولهذا تأثيرات في الانقباض :**

**1 . تزداد سرعة إزالة الكالسيوم من السايتوبلازم سامحة بذلك للعضلة بالاسترخاء والانقباض ثانية بسرعة أكبر .**

**2 . تزداد كمية الكالسيوم المخزون في الشبكة الساكروبلازمية وبذلك تزداد الكمية المدفوعة .**

**ويبين الجدول الوسائل الآلية التي تتحكم في الانقباض وتعد له في الخلايا العضلية الهيكلية والقلبية والملساء .**

**يبين الوسائل التي تتحكم بآلية الأنقباض**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **تأثير الابنفرين** | **تنظيم التفاعل للمايوسين** | **نوع العضلة** |
| **تحفز تحلل الكلايكوجين** | **تربط الكالسيوم مع التروبونين، تغير هيكل الخيط الرفيع ومن ثم تسهل التفاعل بين المايوسين مع الاكتين** | **هيكلية** |
| **تزيد القوة ومعدل التقلص عبر تفسفر التروبونين والفسفور – لابان وبروتينات الساكرومير** | **كما هو في العضلة الهيكلية** | **قلبية** |
| **تقلل قوة التقلص عبر التفسفر وتثبيط إنزيم المايوسين كاينيز للسلسة الخفيفة** | **تربط الكالسيوم إلى الكالمودولين وينشط المايوسين كاينيز ، يسمح تفسفر المايوسين التفاعل مع الاكتين** | **الملساء** |

**4 . الطاقة المطلوبة للانقباض :**

**إذا نفدATP في خلية عضلية فإنها تدخل في حالة تيبس . ومن أجل تجنب هذه الحالة الخطرة نجد أن أيض العضلة مهماً للإبقاء على إمدادات ثابته تقريباً من ATP في وجه نسب استهلاكه الشديدة الاختلاف . وعندما تكون الحاجة إلى ATP معتدلة يمكن المحافظة على الإمداد بها بواسطة أيض التأكسد الذي يزود بالوقود عن طريق أكسدة الحوامض الدهنية والأجسام الكيوتينية .**

**وعندما يكون الانقباض عنيفاً لا تكفي هذه المسارات لسد الحاجة للـ ATP ويتم توليد كميات إضافية عن طريقين :-**

**أ . إن كمية ATP الموجودة في العضلة الهيكلية تستهلك في أقل من ثانية من الانقباض إذا لم يتم التعويض عنها . ولتجنب عجز ATP خلال فترة قصيرة تخزن الخلايا العضلية فوسفات عالية الطاقة في صورة فوسفات كرياتين ويتكون هذا النوع من الفوسفات في العضلة الساكنة بتحويل الفوسفات الطرفية للـ ATP إلى الكرياتين . وعندما يستهلك ATP في عملية الانقباض ينقل الفوسفات إلى ATP .**

**ب . تستطيع العضلات الهيكلية والقلبية كذلك استخدام انحلال السكر اللاهوائي في توليد ATP . وتأتي المواد الأساس لانحلال السكر في العضلة من موجودات الكلوكوز في الدم جزئياً . ويتم تزويد مواد أساس أخر لعملية انحلال السكر بوساطة انحلال الكلايكوجين الذي يبدأ أثناء الانقباض بفعل الزيادة في تركيز الكالسيوم . ويحصل تأثير الكالسيوم في أيض الكلايكوجين بفعل الكالمودولين الذي يمثل وحدة فرعية ، وعندما يزداد تركيز الكالسيوم في الساركوبلازم يحفز ارتباط الكالسيوم للكالمودولين الإنزيم الخاص بتحفيز الكلايكوجين مؤديا إلى انحلاله .**